

## 2相型ステンレス鋼薄板の引張特性と組織

吉村 博文\* 野村 光範\*<sup>2</sup>

Tensile Properties and Microstructures of Dual-Phase-Type Stainless Steel Plates

Hirofumi YOSHIMURA\* Mitunori NOMURA\*<sup>2</sup>

### ABSTRACT

In order to examine the influence of plate thickness and tensile speed on the tensile properties of 17Cr-7Ni dual-phase-type stainless steel having unstable austenite phase with martensite, a tensile test was conducted on the materials with a thickness of 6 mm and 1.5 mm and microstructural changes during the tensile test were observed using a scanning electron microscope. The results are as follows; the yield and tensile strength of plates with a thickness of 1.5 mm are higher than that of plates with a thickness of 6 mm. The yield strength also increased and the tensile strength tended to decrease with an increase in tensile speed. This phenomenon is related to the quantity of martensite phase contained in the unstable austenite phase, which is considered to depend on the temperature during tensile testing.

キーワード：2相型ステンレス鋼、引張特性、オーステナイト、マルテンサイト

Keywords: Dual-phase-type stainless steel, Tensile properties, Austenite, Martensite

### 1. まえがき

現在の生活で、金属はいたるところで見かけるが、そのうち最も身近に感じるのは、やはりステンレス鋼であろう。屋内にあっては、食器類からはじまり、台所の流し台や浴槽にいたるまで、又、屋外にあっては、電車や自動車そして最近では建築物にも多く用いられている。ステンレス鋼は、まさに日常の必需材であり、今後もその用途及び需要は拡大していくものと思われる。ステンレス鋼の中で最近特に需要が伸びているものの一つに高強度材がある。成分系は18-8ステンレス鋼に近いが、これよりやや低Cr-低Ni系になっておりマトリックスのオーステナイト( $\gamma$ , FCC)をやや不安定にしたもので、これを冷間加工して、硬いマルテンサイト( $\alpha'$ , BCC)に誘起変態させ

た $\gamma + \alpha'$ 相の2相型のステンレス鋼で、JISでもSUS301LCとしてすでに規格化されている<sup>[1,2]</sup>。この材料の強度は、冷間加工の程度や内部の $\alpha'$ 量などによって微妙に変化し、かつ用途が強度部材としての比較的厚手のものと、被覆材としての比較的薄手のものがあることから、本研究では板厚の異なるこの材料の引張特性、その組織とりわけ引張試験中の局所的組織変化と関連づけて調べた。

### 2. 実験方法

#### 2.1 試験片の成分及び形状

供試材として $\gamma + \alpha'$ 2相型ステンレス鋼板(SUS301LC)を用いた。その成分代表例をTable 1に示す。

\*工学部教授 \*<sup>2</sup>大学院 機械工学専攻

Table 1 Chemical compositions of stainless steel (SUS301LC) (mass%)

C	Si	Mn	P	S
0.02	0.4	1.08	0.025	0.003
Ni	Cr			
7.02	17.56			

尚、この材料を15%の冷間圧延を施して板厚を6 mmと1.5 mmにしたものを用いた。

この板厚の異なる2種類の材料について引張特性を調べるために、JIS 13号B型引張試験片(試験片:A)を、また引張試験中の変形に伴う局所的組織変化を直接観察するために、これと同じような形状をした試験片の板厚側面を鏡面研磨腐食したもの(試験片:B)を用意した。それぞれの試験片の形状をFig.1に、またその寸法をTable2に示す。

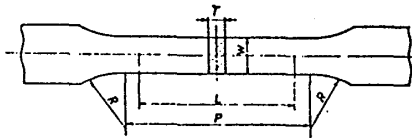


Fig.1 Shape of tensile test piece

Table 2 Size of tensile test pieces (mm)

Marks	W	L	P	R	T
Test piece A	12.5	50	60	20	1.5
Test piece B	7	44	64	20	1.5

## 2.2 引張試験

試験は、6 mm材と1.5 mm材のそれぞれについて行った。また、引張変形中には $\gamma$ 相から $\alpha'$ 相への相変態が行われこの $\alpha'$ 量が引張特性に影響を及ぼし、かつ歪み速度の影響が大きいと考えられることから、引張速度の影響を調べた。引張速度は0.1、0.5、1、および10 mm/minの4条件で行い、それぞれの条件で行った引張試験での応力-歪み線図を描き、これより引張特性(降伏点 $\sigma_y$ 、引張強さ $\sigma_b$ 、伸びEl)を求めた。尚、実用的な面から、速度の表記を歪み速度ではなく、引張速度とした。

引張試験機には島津オートグラフAG-10TEを用いた。

## 2.3 組織観察

引張試験中の変形に伴う組織変化を観察するために、先に用意した試験片を用いて、引張速度1 mm/minで引張試験を行った場合について、試験中の各段階で試験片を取り出し、走査型電子顕微鏡(SEM)で組織を観察し撮影した。これによって引張変形の各段階での組織変化を調べた。

観察段階としては、試験前(A)、降伏点直後(B)、最大応力点付近の塑性領域(C)の3点で行った。

観察には日本電子(株)製のJSM-5300を使用し、撮影は倍率2000倍で行った。

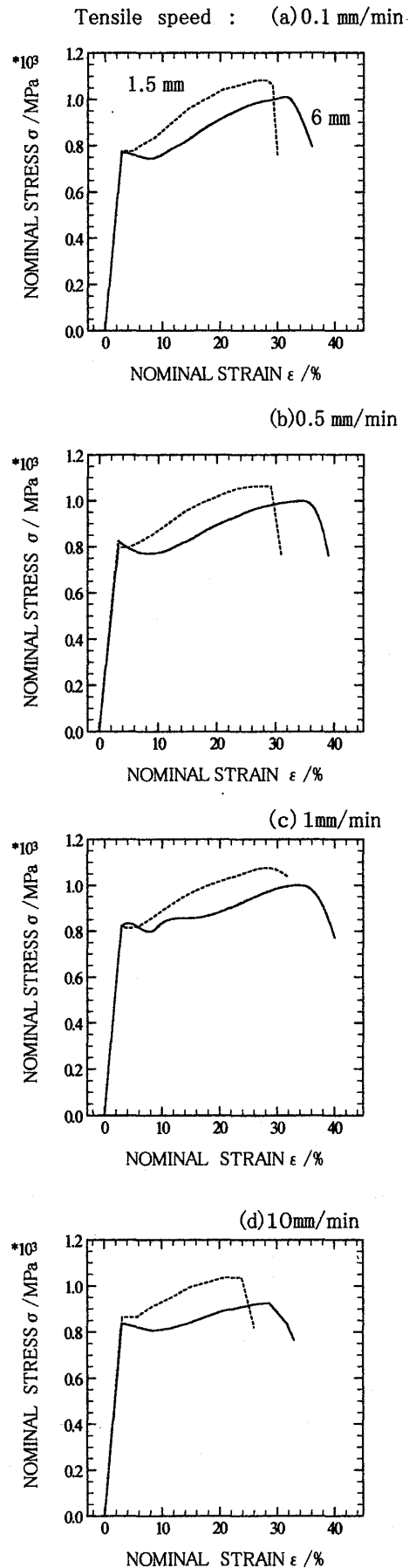


Fig.2 Nominal stress-strain curves of SUS301LC

Table 3 The results of tensile test of SUS301LC plates with a thickness of 6 mm and 1.5 mm

Plate thickness : 6mm				
Tensile speed[mm/min]	0.1	0.5	1	10
Yield stress (Upper) $\sigma_{uy}$ [MPa]	801	826	822	835
Yield stress (Lower) $\sigma_{ly}$ ["]	775	793	801	805
Maximum stress $\sigma_b$ ["]	1046	1038	1000	925
Elongation $\epsilon_l$ [%]	36	39	40	33
Plate thickness : 1.5mm				
Tensile speed[mm/min]	0.1	0.5	1	10
Yield stress (Upper) $\sigma_{uy}$ [MPa]	815	822	820	864
Yield stress (Lower) $\sigma_{ly}$ ["]	815	822	816	863
Maximum stress $\sigma_b$ ["]	1124	1104	1067	1036
Elongation $\epsilon_l$ [%]	30	31	32	26

## 2. 4 $\alpha'$ 量の測定

ドイツのフィッシャー社製のフェライト( $\alpha$ )インデイクターを用いて、破断後の試験片の各部の $\alpha'$ 量を測定した。

## 3. 実験結果

### 3. 1 引張特性

各供試材の応力-歪み線図を、Fig.2において引張速度ごとに(a)~(d)に示し、また引張特性値を Table3に示す。

応力-歪み線図について、引張速度が最も遅い0.1 mm/minの引張試験の結果から説明する。

まず6 mm材では、弾性変形後の降伏点が明確に現れ、次いで塑性変形領域に入り直線的に強度が上昇すると同時に伸び(均一伸び)を示し、最大応力点に達して応力は急激に低下し破断に至っている。

1.5 mm材も6 mm材と同じように、弾性変形後降伏点が現れるが、ただ上下降伏点で明確な差は現れずわずかな直線を示す。塑性変形領域に入ると6 mm材よりもより強化し、均一伸びを示すと同時により高い最大応力値を示して、その後応力は急激に低下し破断に至っている。

降伏および引張強さは、Table3に示すように、6 mm材では775MPaと1046MPaを示し、1.5 mm材では815MPaと1124MPaを示す。これらの結果を板厚および引張速度ごとに示したものが、Fig.3およびFig.4である。

6 mm材と1.5 mm材を比べると、後者が降伏強さ引張強さともに高くなる傾向を示し、引張強さでは1.5 mm材の方が約100MPaも高い。破断伸びは、6 mm材はだいたい40%弱で、1.5 mm材は30%前後で6 mm材の方が、よく伸びている。

次に、引張速度の影響についてであるが、応力-歪み

曲線の形については、それほど大きな変化は見られないが、降伏強さ、引張強さおよび伸びの値の各々について差が見られる(Table3, Fig.4)。6 mm材、1.5 mm材ともに引張速度が速くなると降伏強度が上昇する傾向がみられる。引張速度が0.1mm/minから10mm/minへと増すと、6 mm材では775MPaから805MPaへと約30MPaほど、また1.5 mm材でも815MPaから863MPaへと約50MPaほど向上する。一方、引張強さの方は、逆の傾向を示し6 mm材で1046MPaから925MPaへと約100MPaほど低下し、1.5 mm材でも1124MPaから1036MPaへと約100MPaも低下する。

破断伸びは、引張速度が増すと6 mm材、1.5 mm材ともに引張速度が1 mm/minまでは増加し、その後減少した。

このように本材料は、板厚が薄くなると、降伏および引張強さともに高くなる傾向を示し、引張速度が増すと降伏強さは高くなるが、引張強さは低下するという特異な傾向を示す。

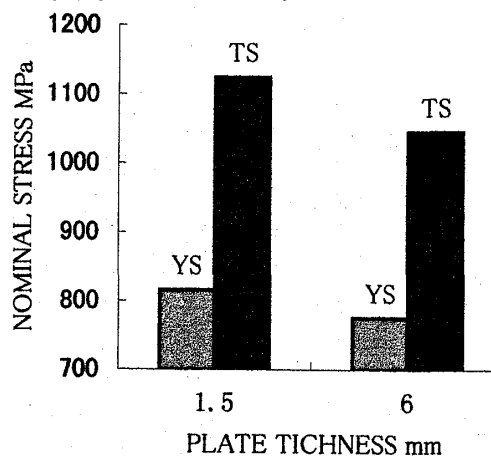


Fig.3 Yield and tensile stress of SUS301LC plates with a thickness of 6 mm and 1.5 mm

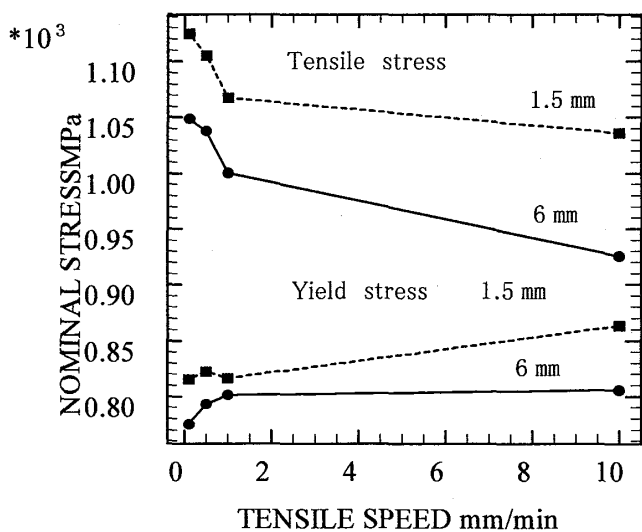


Fig. 4 Influence of tensile speed on the yield and tensile strength of SUS301LC plates with a thickness of 6 mm and 1.5 mm

### 3. 2 組織観察

引張試験中の各段階での局所的組織を撮影したものを6 mm材については Fig.5 に、1.5 mm材については Fig.6 に各々示す。

本材料の引張試験前の組織、つまり素材の状態での組織は、両図の(A)からも分かるように、 $\gamma + \alpha'$ の2相組織で、 $\gamma$ 相粒径は、1.5 mm材の方が細粒である。

そして、両材ともに $\gamma$ 相粒内にごく少量の $\alpha'$ 相が細

かく針状に存在している。引張試験中の組織変化は、降伏点を過ぎて、塑性変形が起こり始めると、 $\gamma$ 相粒内の $\alpha'$ 針状組織のないところからすべり線が発生する((B)、(C))。そして、両材ともに応力の増加とともに成長して、すべり線の交叉が起こり、交叉部分を基点として亀裂が発生して、破断に至っている。ここで、すべり線の発生および交叉の割合は、1.5 mm材の方が多い。

引張試験を行った後の $\alpha'$ 量を、破断した試験片の標点距離を定めたつかみ部側の端部からの距離ごとにおよび引張速度ごとに示したのが Fig.7 である。

両材ともに、端部から破断部へ向かって、つまり変形が進むにつれて、 $\alpha'$ の量が増えていることが分かる。これは試験片に応力が加わることによる塑性変形によって $\gamma$ 相から $\alpha'$ 相へ変態したためと考えられる。いわゆる加工誘起変態によるものである。

また、変態の割合は、板厚別に見ると、6 mm材では引張速度 0.1mm/min では、端部からの距離が約20mmですでに30%に達しているのに対し、10mm/min では 50 mmでようやく30%に達している。これに対して、1.5 mm材では、引張速度 0.1~10mm/min までが少なくとも距離30mmですでに $\alpha'$ 量が30%に達している。つまり1.5 mm材の方が6 mm材より、 $\alpha'$ 量(変態量)が多いことが分かる。

この結果は、さきに示した引張強さと関係があり、 $\alpha'$ 量が多いほど引張強さは高くなる。



(A) Before tensile test

(B) At yield turn

(C) Plastic deform region

Fig.5 SEM microstructures of during tensile testing for SUS301LC plate with a thickness of 6 mm



(A) Before tensile test

(B) At yield turn

(C) Plastic deform region

Fig.6 SEM microstructures of during tensile testing for SUS301LC plate with a thickness of 1.5 mm

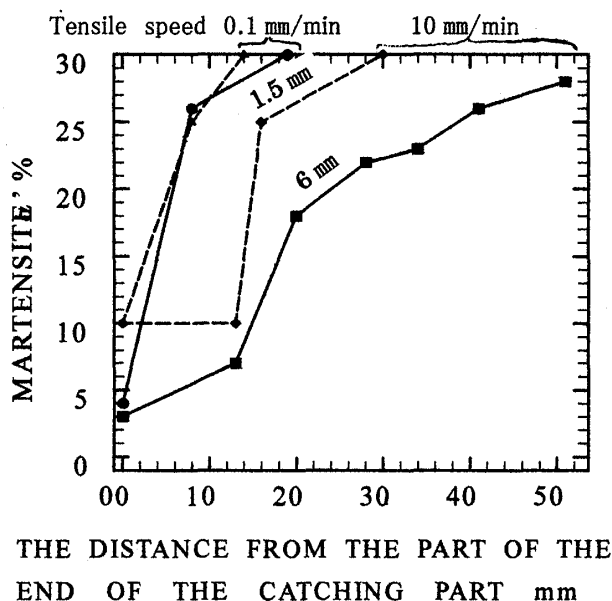


Fig.7 Account of martensite( $\alpha'$ ) of tensile test pieces with a thickness of 6 mm and 1.5 mm

#### 4. 考察

まえがきでも述べたように、本実験に用いたステンレス鋼は、不安定な $\gamma$ 相内に硬い $\alpha'$ 相が混存した2相組織を有する材料である。この材料の引張特性に及ぼす板厚および引張速度の影響を調べた。以下、この特性と、特に強さに強く影響すると考えられる加工誘起 $\alpha'$ 量と関連づけて考察する。まず、降伏および引張強さともに、1.5 mm材の方が高い。これは、6 mm材と1.5 mm材の $\alpha'$ 量を見ると明らかなように、1.5 mm材の方が多量であることを示している。

一般に速度依存性は引張速度が速くなると、降伏及び引張強さは高くなる傾向を示すが、本実験では速度の増加に伴い降伏強さは高くなったが、引張強さは逆に低くなるという特異な傾向を示した。降伏強さについては、一般的な速度依存性と考えられるが、引張強さについては、板厚の違いと同様に $\alpha'$ 量に関係していると考えられる。

すなわち、1.5 mm材の方が、引張強さも高く、かつ引張速度が小さいほど強さは高くなる傾向を示している。これは、 $\alpha'$ 量と対応している。今回は $\alpha'$ 量を30%までしか測定できなかったため、これ以上の $\alpha'$ 量との関係については、今後さらに測定をする必要がある。

強さに強く影響する誘起変態による $\alpha'$ 量の違いが板厚あるいは引張速度によって変化する原因について考えてみる。一般に相変態には材料の成分と熱が大きく関係する。本実験で用いた両材料の成分は、同じであるので $\alpha'$ 変態量に影響している原因としては、熱が考えられる。

これについて Fig.7 でも分かるように板厚が薄く、引張速度が遅い方が、 $\alpha'$ 量が多い。これは、引っ張りという変形によって材料内に熱が発生しその発生した熱は板厚が薄く、かつ引張速度が遅いと放出されやすく、 $\gamma$ 相から $\alpha'$ 相への変態が行われ易いためと考えられる。

この量については、引張試験中の試験片の温度を測定する必要がある。

又、本実験では両材ともに高い均一伸びを示しているが、 $\gamma$ 相から $\alpha'$ 相への変態は変形が進むほど多く行われる。このことから、試験片の中でもっとも大きく変形している部分、つまり応力集中部分で最も変態が多く行われているので、応力集中部により変形しにくい $\alpha'$ 相が多くでき、応力の伝播に従って相変態も伝播するためと考えられる。

#### 5. 結論

$\gamma$ 相内に $\alpha'$ 相が混存した2相組織を有するステンレス鋼の薄板の引張特性と組織に関する研究の結果を総括すると以下ようになる。

1. 板厚 6 mm材と 1.5 mm材では、降伏および引張強さにおいて、1.5 mm材の方が約100MPaほど高い値を示し試験片の板厚の影響が現れた。
2. 同様の試験において、引張速度が速くなると、降伏強さは高くなるが、引張強さは逆に低くなる傾向を示す。
3. 引っ張りによる塑性変形で $\gamma$ 相内にすべりが起き変形による誘起変態した $\alpha'$ 相の量が増加し破断に至る。このときの $\alpha'$ 量は、板厚の薄い1.5 mm材の方が多く、かつ引張速度が速くなると少ない。これは、引張特性と相関がある。
4. 応力集中部で最も変態が多く行われるため、応力集中部に変形しにくい $\alpha'$ 相が多くでき、応力の伝播に従って相変態も伝播するためなかなか破断にいたらず、高い均一伸びを示す。
5.  $\gamma$ 相から $\alpha'$ 相への変態する量は熱量に大きく関係していると考えられる。

#### 6. 参考文献

- [1] 川畑正夫 藤田輝夫 江波戸和夫：PHステンレス鋼の機械的性質、日本金属学会会報、第3巻、649—671、1962
- [2] 吉村博文 住友秀彦 中田潮雄 中川恭弘 平松博之 荒川基彦：高張力ステンレス鋼(301LC)の開発—車両用構造材として—、製鉄研究、第313号、62—72、1984